

第 3 章 バレル研磨の高速化

3.1 高速バレル研磨への幾つかの試み

前章で述べた通り、バレル研磨により簡便な機械研磨法を実現することができた。しかし、この方法では研磨速度が小さいという問題がある。目安としている $30\mu\text{m}$ の厚みを除去するのに約 10 日～2 週間を要する。この研磨速度の問題を改善するために、最初に行った幾つかの試みを記述する。

3.1.1 揺動バレル研磨

先ず初めに、研磨速度の高速化、とくにアイリス部での研磨速度の向上を目的として、バレル研磨を揺動（振り子運動）するベッドの上で行う揺動バレル研磨法を試みた（図 3-1）。研磨量を大きくしたいのは主として空洞の赤道部である。しかし、空洞のアイリス部では表面電界が強く、この部分に欠陥があると電界電子の放出を招き、フィールドエミッションによる空洞性能低下が懸念される。従ってアイリス部の研磨も重要である。

揺動バレル研磨(バレル回転速度：100rpm、メディア量：1 kg、研磨液量：500cc、揺動周期：60 秒、最大揺動角：19 度)により図 3-2 に示すようにアイリス部の研磨速度が向上した。そして、空洞内面の平均研磨量速度は 1 割向上した（表 3-1）[3-1]。またこの揺動

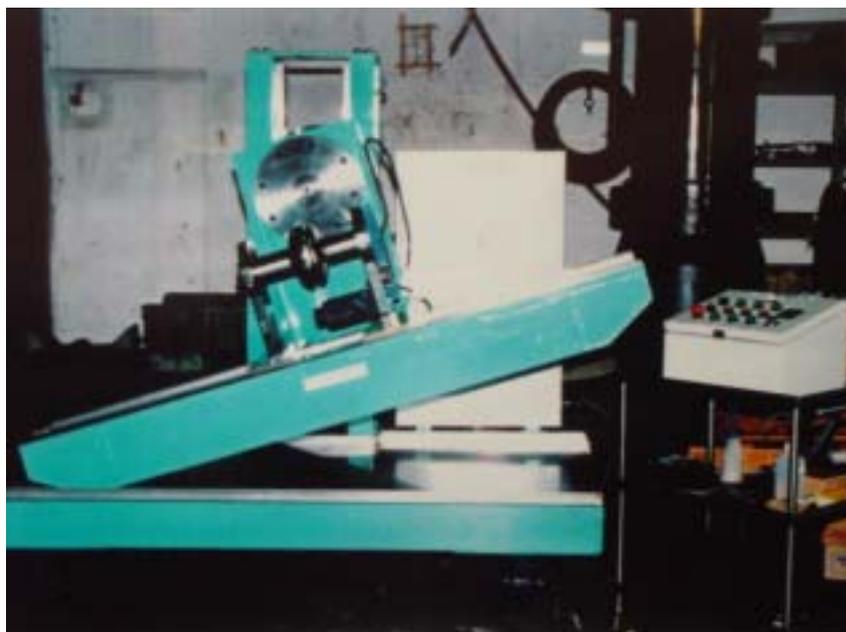


図 3-1. 揺動バレル研磨法（L バンド単セルを研磨中）

バレル研磨により $\epsilon = 0.64$ (600MHz)の潰れた形状の超伝導陽子リニアック用空洞でも問題なく研磨することができた(図 3-3) [3-1]。

揺動バレル研磨した L バンド単セル空洞 ($b=1$) に電解研磨、真空熱処理を施して空洞性能を評価した結果、図 3-4 に示すように 26.5MV/m の加速性能が得られた。しかし、この揺動バレル研磨の研磨速度は、期待したほど向上せず、採用には至らなかった。

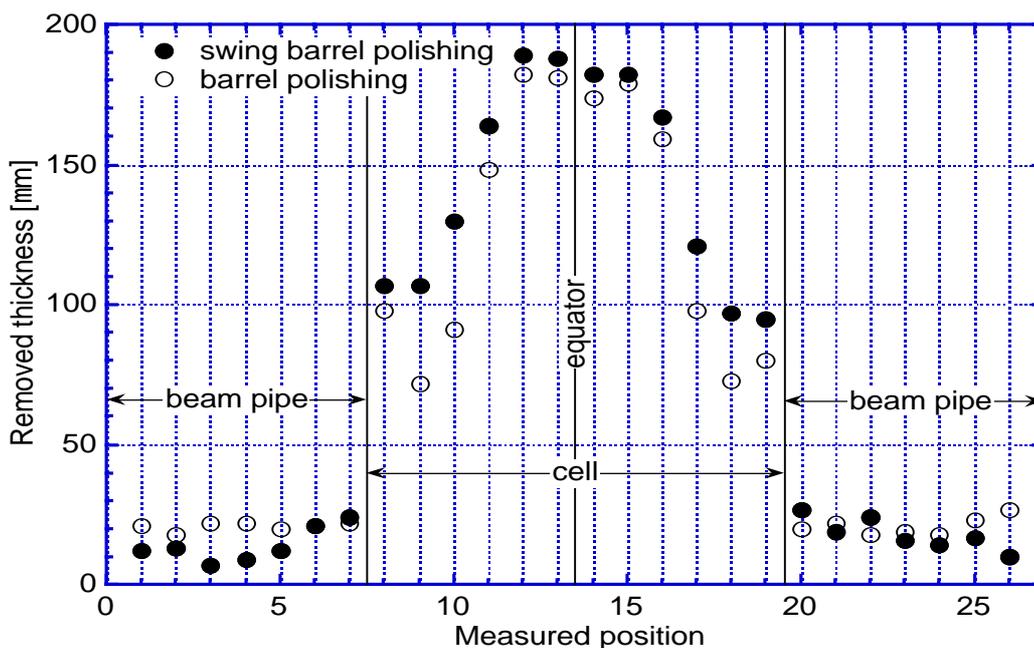


図 3-2. 揺動バレル研磨による研磨厚み分布 (L-バンド単セルニオブ空洞)

表 3-1. L バンド単セル空洞 ($b=1$) に対する 揺動バレル研磨の効果 (回転速度 100rpm)

バレル方法	研磨メディア	72 時間での空洞研磨量	研磨速度比
従来バレル	PV 800g	14.0 g (9.86mm) ,3.3mm/day	1
揺動バレル	PV 800g	15.3 g (10.8 mm) ,3.6mm/day	1.09

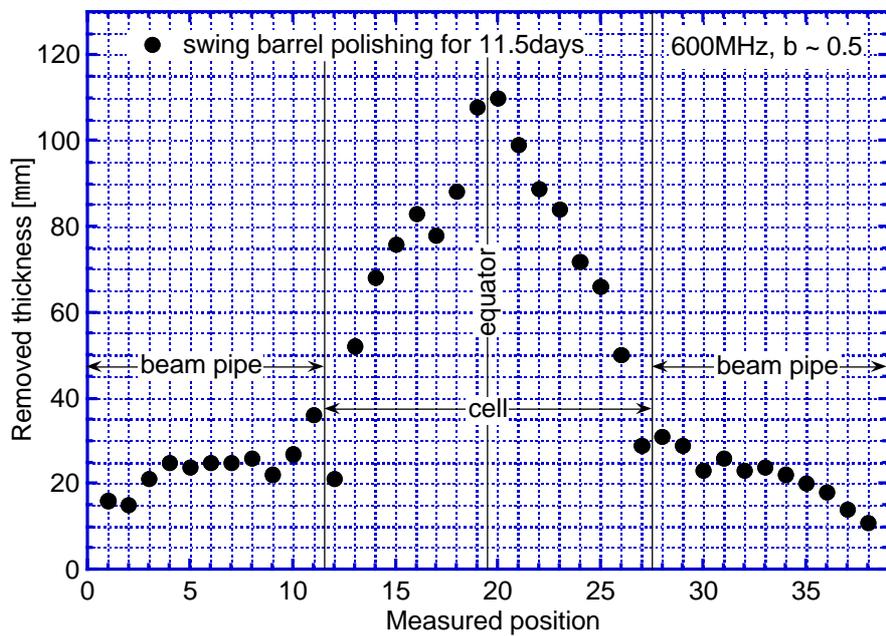


図 3-3 . 600MHz 陽子加速用超伝導空洞 ($b=0.64$ 、単セル空洞) に対する揺動バレル研磨の研磨厚み分布

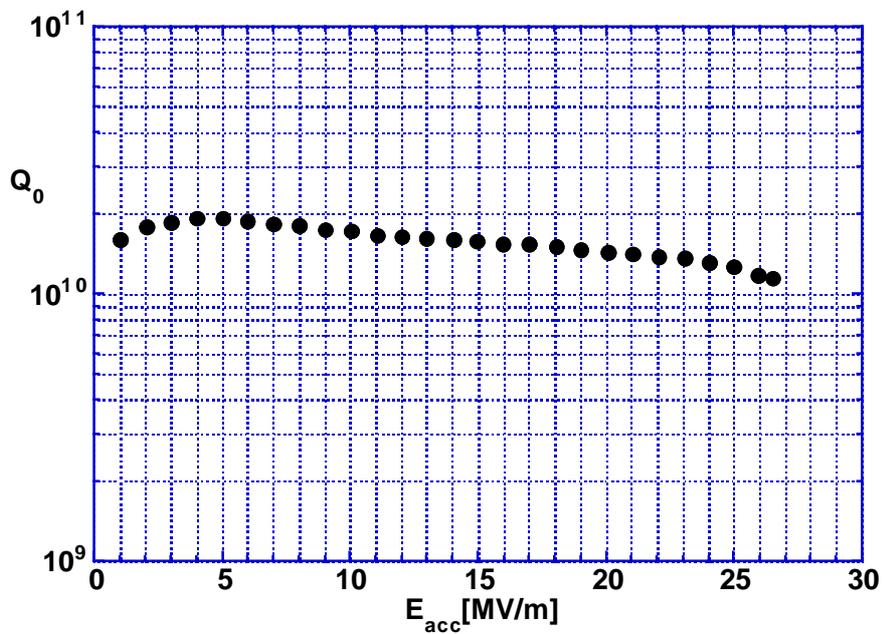


図 3-4 . 揺動バレル研磨を適用した Lバンド空洞($b=1$)の性能

3.1.2 反転バレル研磨

空洞を回転させてバレル研磨を継続すると、メディアの消耗により発生する研磨かすにより研磨液の粘性が上がる。そして、研磨メディアが空洞と同じ方向に回転を始め、空洞との相対速度が減少し、研磨効果が失われることが分かった。この問題に対処することがバレル研磨速度の改善に繋がると考えた。空洞を反転させれば、慣性でそのまま回転しようとする研磨メディアと空洞の間に摩擦力が働き平均相対速度が向上するはずである。この反転運動を頻繁に行う程その効果が上がると期待されるが、我々のバレル研磨装置ではマニュアル操作しなければならないので、取りあえず 10 分間毎に空洞の回転方向を反転することを試みた。その方法で 72 時間連続研磨し、従来法のバレル研磨の場合と比較した。尚、ここではバレルメディアとして GCT を使用した。実際には各方法で測定を 2 回繰り返し替えし、その平均値を取った。結果を表 3-2 に示す。この場合の研磨速度の向上は 2 割程度であった。

表 3-2. 反転バレル研磨法による研磨速度
(回転速度 100rpm。値は 2 回の実験の平均値)

バレル研磨方法	研磨メディア	72 時間での空洞研磨量	研磨量比
従来法	GCT 1kg	19.9g (14.0 μ m)	1
反転バレル	GCT 1kg	24.7g (17.4 μ m)	1.2

3.1.3 揺動バレル研磨と反転バレル研磨の組合せ

上記二つの実験により、揺動、反転が研磨速度の向上に繋がることが分かった。そこでさらに、揺動と反転を同時に行った際の研磨速度の変化を調べた。結果を表 3-3 に示す。実験条件はそれぞれ、揺動については 3.1.1、反転については 3.1.2 と同じにした。揺動と反転の双方の効果が加算され、研磨速度は 4 割弱向上した(表 3-3)。

表 3-3. 揺動 + 反転の効果 (従来法は 2 回行った実験の平均値)

バレル研磨方法	研磨メディア	72 時間での空洞研磨量	研磨量比
従来法	GCT1kg	19.9g (14.0 μ m)	1
揺動反転研磨法	GCT1kg	27.8g (19.6 μ m)	1.4

3.1.4 研磨速度の減衰と洗浄の効果

以上の研磨速度の向上に関する実験を遂行する間に、バレル研磨速度の時間的減小の問題が強く認識された。バレル研磨を継続するに従って、研磨砥粒による研磨液の粘性の上昇、研磨砥粒の空洞内表面への付着の進行、メディア形状の球状化等により、研磨速度が減小して行く。この減小の程度を調べるためそれぞれ連続バレル研磨時間で 1 日、2 日、3 日間の 3 種類を実施した。そして、この 3 つの結果の差分をとり、1 日当たりの研磨速度の変化を調べた。単に研磨時間で割った平均研磨速度の比較よりは、この差分法のほうがより敏感な結果を出すことができる。1 日当たりの研磨速度変化の測定結果を表 3-4 に示す。実験には GCT メディア 1kg を用い、回転速度は 100rpm で行った。この結果より、バレル研磨速度減衰のため、研磨効果が持続するのは 2 日目までであることが分かった。

尚、表中のメディア磨耗率とはメディア重量の減少率である。これは重量減少分を当初の重量で割ったものである。

表 3-4. バレル研磨時間に対する 1 日当たりの
バレル研磨速度の減衰

研磨時間 [時間]	空洞研磨量重量 [g]	メディア磨耗率 [%]	1 日当りの研磨厚み [μm]
24	11.1	30.7	1 日目 : 7.8
48	21.9	48.5	2 日目 : 7.6
72	23.4	52.6	3 日目 : 1.1

3.1.5 研磨液の交換効果

3.1.4 の実験結果で、研磨速度を減衰させる理由をより明確にするために、研磨液の砥粒による粘性の上昇の問題を調べた。従来法バレル研磨を 4 時間行う毎に研磨液を交換して、全研磨時間で 24 時間研磨した場合と、同様に 8 時間毎に研磨液を交換し全研磨時間 24 時間の 2 つの実験を行い、最後に重量測定を行い 24 時間当りの研磨速度、あるいは、メディアの消耗量を比較した。研磨液交換では、研磨砥粒の混じった研磨液（コンパウンドを水で希釈したもの）を抜き、新しい研磨液を空洞内に入れ、研磨を続行した。尚、この液交換では空洞の内面洗浄及び研磨メディアの交換を行っていない。試験結果を表 3-5 に示す。研磨液の交換により 15% 研磨速度が向上した。

表 3-5. 研磨液途中交換の効果

交換間隔 [時間]	合計研磨時間 [時間]	メディア量 [g]	空洞研磨厚み [μm]	メディア磨耗率 [%]
4	24	1000	11.5	55
8	24	1000	11.2	48
交換無し	24	1000	10.0	37

3.1.6 化学バレル複合研磨

上記のようにバレル研磨法を工夫することで、研磨速度の改善を試みたが、精々 50%程度の向上しか期待出来ないことが分かった。研磨速度を 10 倍以上向上させるには、バレル研磨に化学研磨を併用することが有望である。化学研磨は、すでに見たように常温で約 $10\ \mu\text{m}/\text{分}$ という大きな研磨速度をもつ。バレル研磨の研磨液を化学研磨液に置き換えることで、そのような複合研磨が期待出来る。しかし、通常の研磨液では反応が激し過ぎ、空洞の温度が上がり、水素吸蔵等別の問題が起きかねない。ここでは、化学研磨液（47% フッ酸水溶液：61% 硝酸水溶液：85% リン酸水溶液を体積比 1:1:1 で混合）3 に対して水を 1（体積比）とした希釈液を使用した。図 3-5 に示すように、揺動バレル研磨装置を利用して行った。



図 3-5 . 化学バレル複合研磨法

また、アルミナ系の研磨メディアは使用する化学研磨液中のフッ化水素酸に溶解するので、ここでは超仕上げ用プラスチックメディア PK を使用した。揺動ベッドを傾け 6rpm でゆっくり回転させながら空洞に研磨液を導入した後、空洞回転速度：100rpm、メディア量：750g、研磨液量：250cc、揺動なしの条件下で 3 時間研磨した。図 3-6 にこの方法での研磨厚み分布を示す。バレル研磨のみを適用した場合には赤道部（半径最大）の研削量が著しく大きいのが、この化学バレル複合研磨の場合には赤道部を含む空洞全体でほぼ一定の研削量であった[3-1]。また、3 時間で目標の平均研磨量 30mm を研磨することが出来た。空洞内面に渡ってかなり一様研磨されることが分かる。化学研磨とバレル研磨の複合研磨を期待したが、化学研磨の圧倒的な研磨速さに引っ張られて、実際には複合研磨と言うよりは殆ど化学研磨効果しか見えていない。また、研磨開始から 10 分間で空洞外面温度が 70 にも上がり、空洞研磨面が非常に荒れた。さらに化学反応による発生ガスの対応、研磨液の沸騰など非常に危険であった。

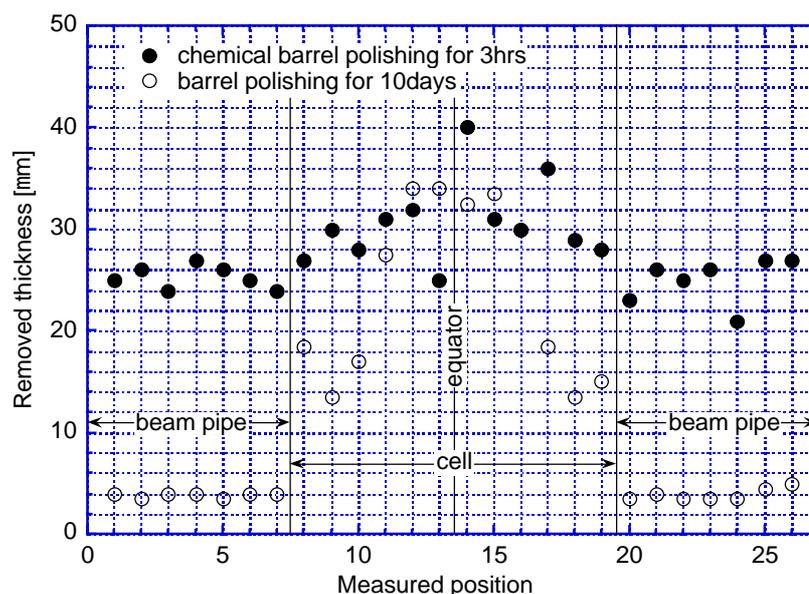


図 3-6 . 化学バレル研磨での研磨厚み分布

研磨状態を図 3-7 に示す。空洞内面が非常に荒れていたため十分な性能期待出来ないと予想されたが、この化学バレル研磨を前処理として製作した空洞の性能測定を行った。溶接によってできたスパッタボールをグラインダーで除去し、少量（10 μm）の化学研磨で表面の汚れを除去した後アニールで水素を脱ガスし、その後化学バ

レル複合研磨（ $30\ \mu\text{m}$ ）と高圧純水洗浄で仕上げた空洞の最初の測定結果が図 3-8 である。最大加速電界 16.6MV/m という悪い結果であった[3-1]。この測定後、空洞内面を検査したところ空洞赤道部内面に 0.6mm 程度のピットが確認された。このピットをグラインダーで除去して平滑にし電解研磨 $30\ \mu\text{m}$ 、純水高圧洗浄をした後再度性能測定を行った。この結果を図 3-9 に示す。この少量研磨では最大加速電界 17.1MV/m と性能は回復しなかった。

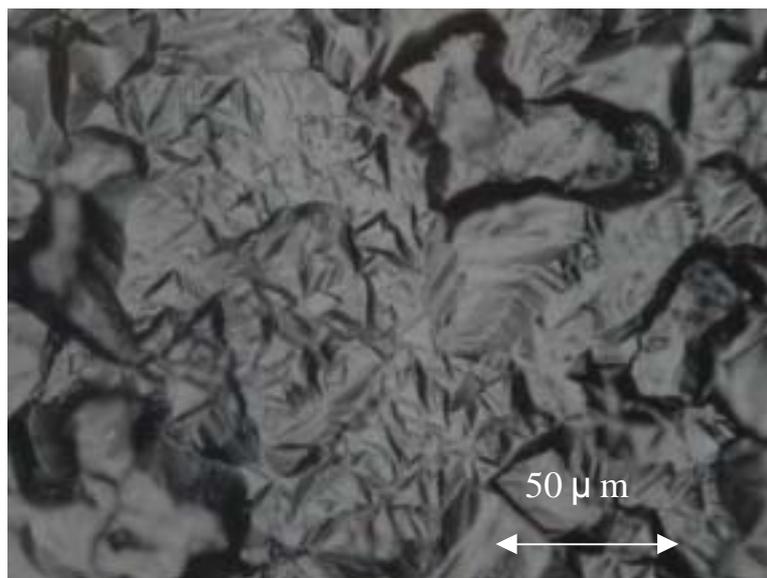


図 3-7 . 化学バレル複合研磨を施したニオブ研磨面

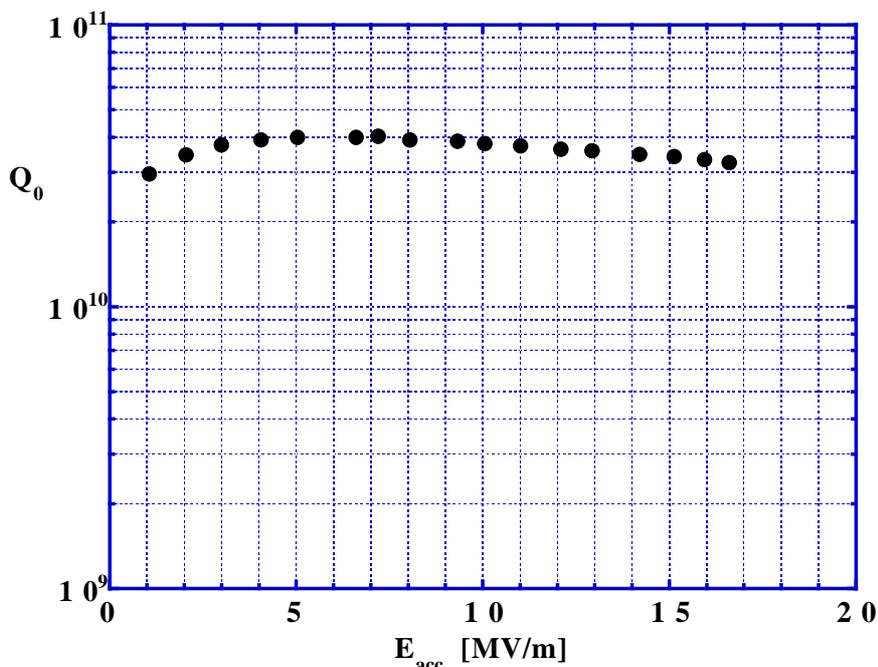


図 3-8 . 化学バレル複合研磨を行った空洞の性能

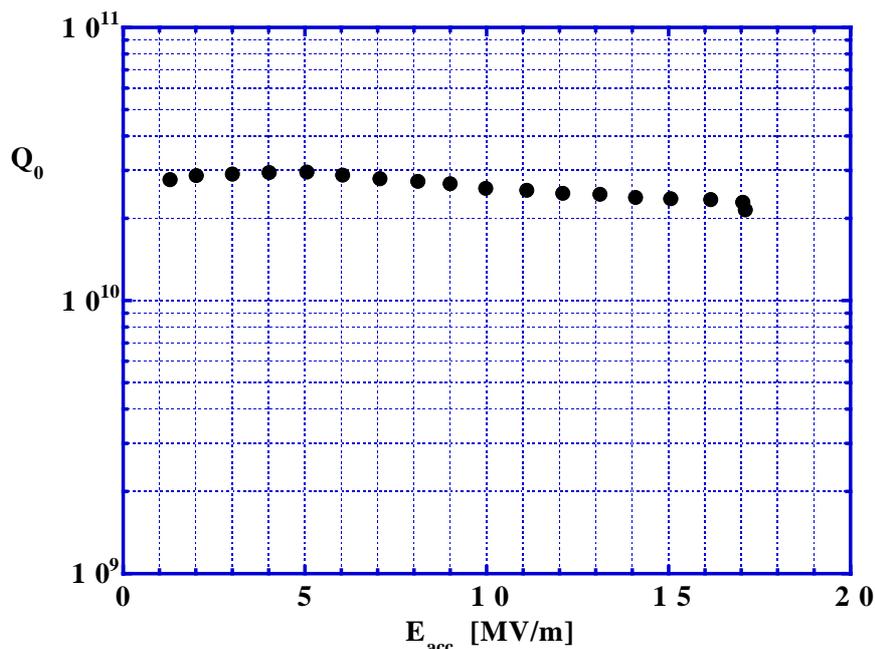


図 3-9 . 電解研磨による性能回復試験

3.2 機械研磨高速化の実現（遠心バレル研磨：CBP）

3.1 節に示したように、バレル研磨の研磨速度の改善のために色々な方法を試みたが、効果的な方法が見つからなかった。しかし、その経験から次の重要なことを理解できた。回転運動中の揺動、反転といった運動が研磨速度向上に重要である。また、メディアは 2 日程度で磨耗し、それ以上の長時間研磨では効率的な機械研磨は期待出来ない。こうした理解に立って改めて文献調査を行った結果、遠心バレル研磨技術が非常に有望な方法であることに気付いた[3-1]。

3.2.1 遠心バレル研磨法の原理

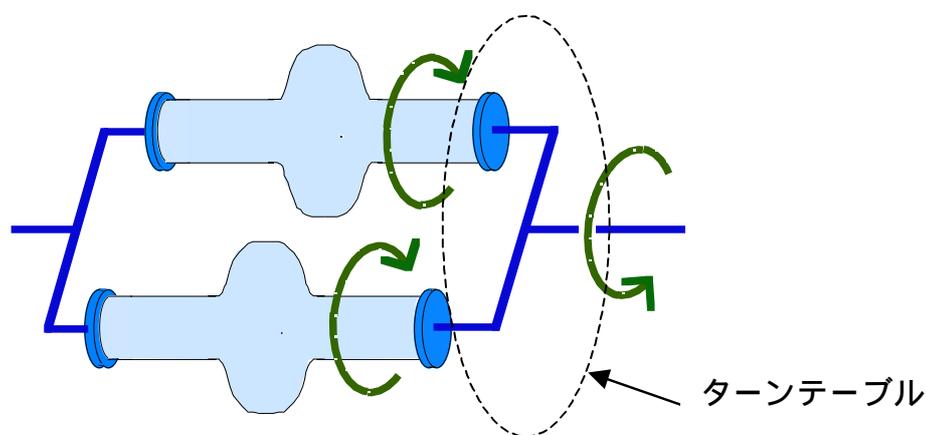


図 3-10. 空洞の遠心バレル研磨

遠心バレル研磨法では図 3-10 に示すように 2 つの方向の異なる回転運動：自転（中心から外れた位置に空洞を取付けたターンテーブル上での空洞の回転）と公転（自転と逆方向のターンテーブルの回転）を組合わせ、メディアと空洞内表面の摩擦力を大きくすることにより高速研磨が可能である。

公転:自転=1:-1 の場合の空洞及び空洞内の研磨メディアの運動を図 3-11 に示す（自転:公転=1:-1 の場合）。大きな円が公転の軌道を、黒丸が空洞の特定の点を示す。装置の外から見ると空洞は常に同じ方向を向いている。一方研磨メディアは遠心力により常に公転の外側にある（回転速度を充分速くし、重力より遠心力の方が大きくなるようにする。例えば後出の空洞用遠心バレル研磨装置では空洞壁までの半径 40cm、160rpm であり、遠心力が重力の 11 倍である。）黒丸で示した空洞内面の特定の点から見ると図 3-11 の下図の通り、大きな遠心力で押付けられた研磨メディアが公転の都度その点を 1 回通過する。即ち大きな垂直抗力により大きな摩擦力が得られる。

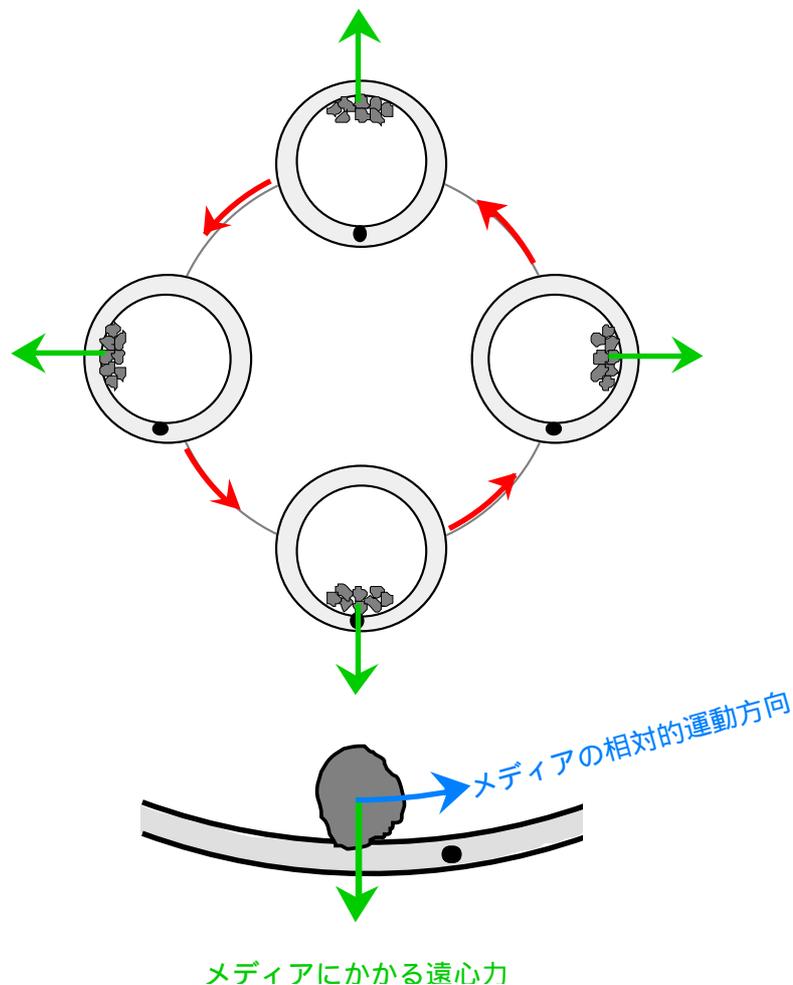


図 3-11. 遠心バレル研磨での空洞と研磨メディアの運動

3.2.2 遠心バレル研磨の予備試験

TKX 社の協力を得て、既存の遠心バレル研磨装置 TKC-40 で遠心バレル研磨試験を開始した。この装置では L バンドニオブ空洞を装着するだけの装着幅がないので、ニオブパイプ（直径 76mm、長さ 149mm）を被研磨物とした（図 3-12）。これはほぼ L バンド空洞のビームと同じ寸法である。通常、バレル研磨ではビームパイプ部は殆ど研磨されない。しかし、研磨速度の大幅な向上を見込んでこのニオブパイプでの試験を行った。始めに従来のバレル研磨法と遠心バレル研磨法でのビームパイプの研磨速度を比較した。結果を表 3-6 に示す。回転速度は従来のバレル研磨と比較するため 100rpm とした。



図 3-12. ニオブパイプの遠心バレル研磨

研磨メディアには仕上げ研磨用のプラスチックメディア PV（PMG 社）70g を用い、24 時間連続研磨した。遠心バレル研磨の条件は、空洞自転速度 100rpm（自転:公転=1:-1（マイナス記号は反対方向の回転であることを示す））で、他は従来法のバレル研磨の条件に合せた。

表 3-6 . 遠心バレル研磨の効果
（従来法の値は 3 回の測定の平均値）

研磨方法	研磨厚み [μm]	研磨速度比
従来のバレル研磨	2.7	1
遠心バレル研磨	4.6	1.7

試験結果を表 3-6 に示す。本来研磨しづらいビームパイプでも遠心バレル研磨で 1.7 倍の研磨速度の向上が確認できた[3-2]。実際の空洞はこれよりも直径が大きいため研磨メディアが空洞内壁に押し付けられる遠心力がより大きくなる事から、この方法が実用上有効

であることが予測された。

3.3 研磨メディアの選定 (GCT)

専門メーカーのアドバイスで、研磨速度の高速化のためには研磨メディアの選定が極めて重要であることが分かり、遠心バレル研磨の開発に当たり、研磨メディアの再検討を行った。また空洞回転速度に関してもメーカーのアドバイスに応じて 120rpm に上げた。前節の被研磨物であったニオブパイプを用いて表 3-7 に示す各種メディアを用い、研磨速度と仕上がった研磨面の粗さを測定した。結果を図 3-13 に示す。炭化硅素を砥粒とした粗研磨用メディア GCT (TKX 社製) で研磨速度が最大で $16\ \mu\text{m} / 24$ 時間であったが、粗さも約 $10\ \mu\text{m}$ と最大であった。研磨メディア PLD はダイヤモンドの砥粒をプラスチックで固めたものである。GCT を用いた場合を上回る高速研磨を期待して試作いただいたがダイヤモンドとプラスチックの接着に問題があり、研磨速度は GCT を使用した方が大きかった。同じ遠心バレル研磨法では GCT を用いた場合に PK 及び PV を用いた場合に比較し 10 倍近い研磨速度が得られた[3-2]。ただし、この GCT メディアを通常のパレル研磨法に用いた場合には、表 3-8 に示すように、PV を用いた場合と研磨速度に殆ど差がなかった。ここでは各メディアの体積が等しくなるようにして比較している。尚、双方のメディアとも、この 700cc のメディア量で研磨速度最大であった。

表 3-7 . 調査した研磨メディアの種類

media	shape	size [mm]	abrasive	bond	manufacturer
MXB	sphere	diameter 6	alumina	ceramics	TKX
SPT	prism	6x6	bauxite	ceramics	TKX
VRT	prism	10x7	alumina	ceramics	TKX
PLD	cone	10x10	diamond	polyester	TKX
GCT	prism	12x12	silicon carbide	ceramics	TKX
PV	cone	10x10	alumina	polyester	PMG
PK	cone	10x10	alumina	polyester	PMG

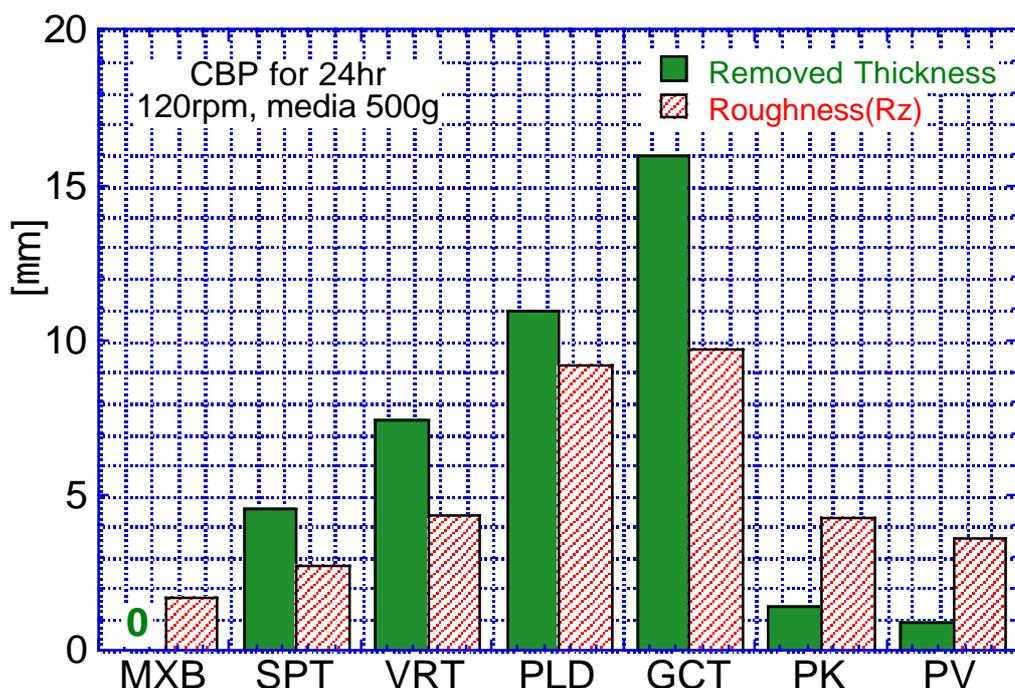


図 3-13. 各メディアに対する遠心バレル研磨速度と研磨面粗度

表 3-8. GCT メディアでバレル研磨した場合の空洞の研磨速度
(GCT は 2 回実施した平均値)

メディア	メディア量	72 時間での空洞研磨量	研磨量比
GCT	700cc (1000g)	19.9g (14.0 μ m)	1
PV	700cc (800g)	19.0g (14.0 μ m)	1.0

3.4 GCT メディアを用いてバレル研磨した空洞の性能

前節の図 3-13 の通り GCT メディアは遠心バレル研磨で大きな研磨速度を持つが、研磨面の粗さ Rz が約 10mm と粗い。従来これ程粗い機械研磨仕上面で空洞性能を評価したことがなかったため、この粗さの空洞性能への悪影響が懸念された。また、GCT メディアは従来のバレル研磨での粗研磨用プラスチック製メディア PV に比較し重い (1.25 倍) ために空洞内面への当りが強く、加工硬化の問題が懸念された。GCT メディアを空洞のバレル研磨に適用しても空洞性能に問題がないか確認するために、GCT メディアを用いて従来法でバレル研磨を行い、通常のプロセス (化学研磨液で表面の削りかすを除去した後に 760 で真空焼鈍、電解研磨 30 μ m、純水高圧洗浄) で仕上げ、空洞性能を確認した。その性能試験結果を図 3-14 に示す。32MV/m の高加速電界が達成された。GCT メディアの使用に問題が無さそうであること、25MV/m を目標として従来法のバレル

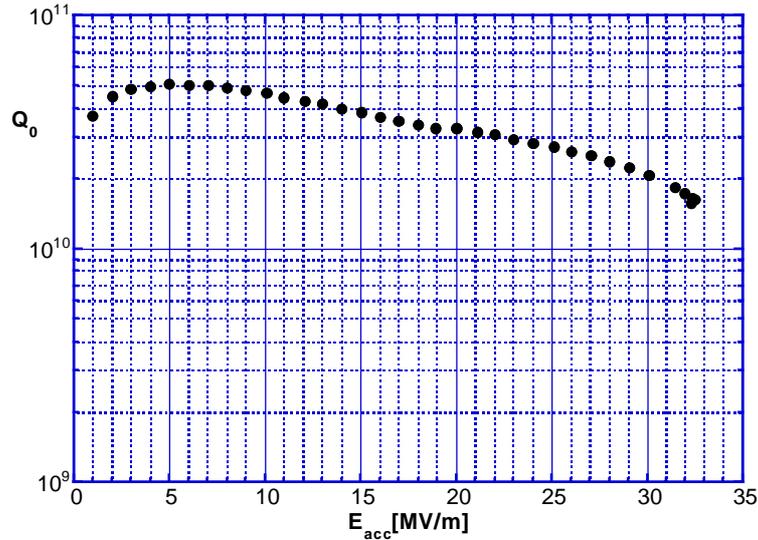


図 3-14. GCT メディア（粗研磨用）のみを用いてバレル研磨した空洞の性能

研磨を行う場合、仕上げメディアで滑らかに仕上げず粗研磨のみでよいことが分かった[3-2]。ただし遠心バレル研磨を行った場合には従来法のバレル研磨の場合に比較して研磨面粗度が倍になるため、遠心バレル研磨でも仕上げ研磨が不要とは限らない。この問題については7章で後述する。

3.5 遠心バレル研磨による高速研磨

3.4 節で述べた通り、借用した遠心バレル研磨装置には実際の空洞が納まらなかったために、ニオブパイプで研磨試験を実施した。その結果、研磨速度の高速化に大きな期待が持てた。空洞で高速研磨が可能であることを確認するため L バンドニオブ単セル空洞の両端を放電加工で切断し、遠心バレル研磨装置に装着できる様にし実験を行った（図 3-15）。

ここで更なる研磨速度の向上を期待して空洞回転数を 140rpm に上げた。4 時間及び 8 時間の 2 種類の連続研磨を GCT メディア量を空洞体積（3.4 リットル）の 2/8 から 4/8 まで変化させ実施した。結果を図 3-16 に示す。研磨量はメディア量が空洞容積の 3/8 の量のとときに最大であった。研磨厚みは 4 時間で平均 $17\mu\text{m}$ であった。従来の研磨速度 $8\mu\text{m}/24$ 時間と比べて 12 倍に向上した[3-3]。しかし、同条件で 8 時間遠心バレル研磨した場合の研磨厚みは $25\mu\text{m}$ であり、研磨厚みは必ずしも研磨時間に比例しないことが確認された。これは後で述べるように研磨メディアの磨耗が関係している。



図 3-15. 両端を切断した空洞の遠心バレル研磨

上記の 4 時間の遠心バレル研磨の際、空洞内の研磨量分布を超音波厚み計を用い測定した(図 3-17)。メディア量が少ないと赤道部を中心とする一山型、多いとアイリス部で最大となる双山型の分布になる。これは、遠心バレル研磨でメディア量を変化させることにより赤道部、アイリス部の両方をうまく研磨できる可能性があることを示している[3-3]。

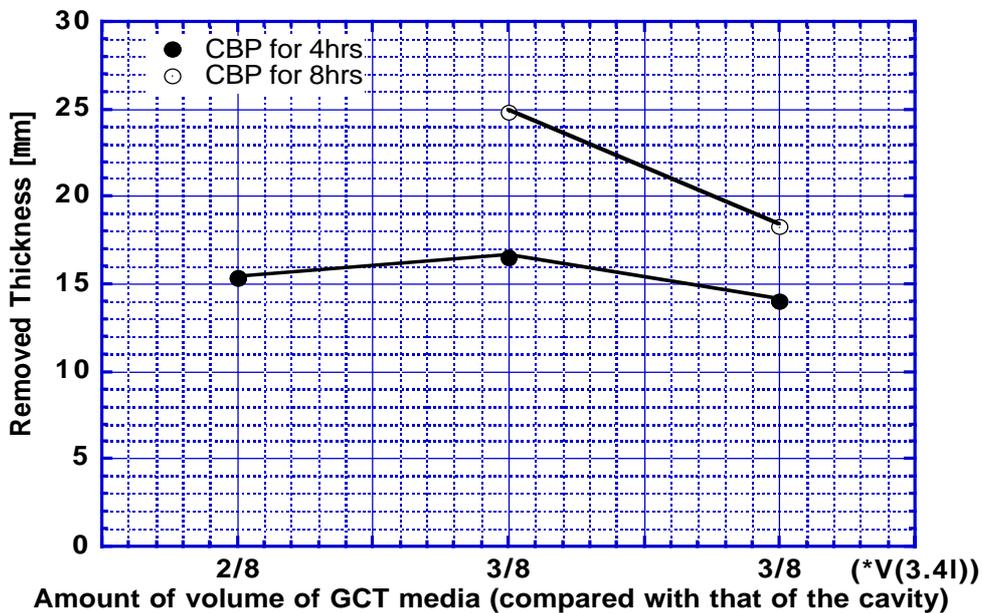


図 3-16 . 4 時間及び 8 時間での遠心バレル研磨厚み

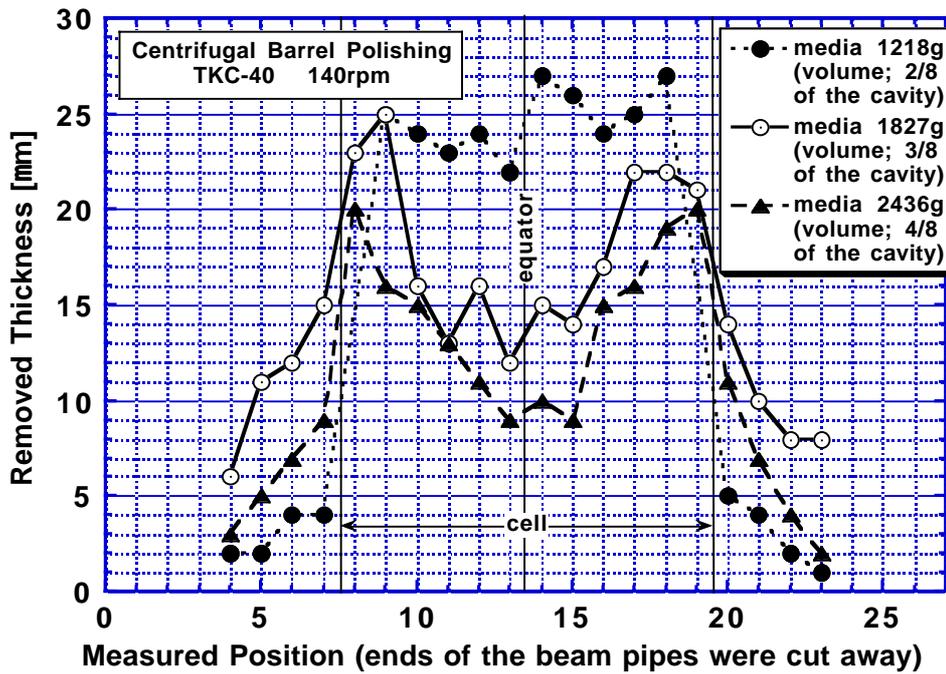


図 3-17. 投入メディア量と空洞内の研磨厚み分布

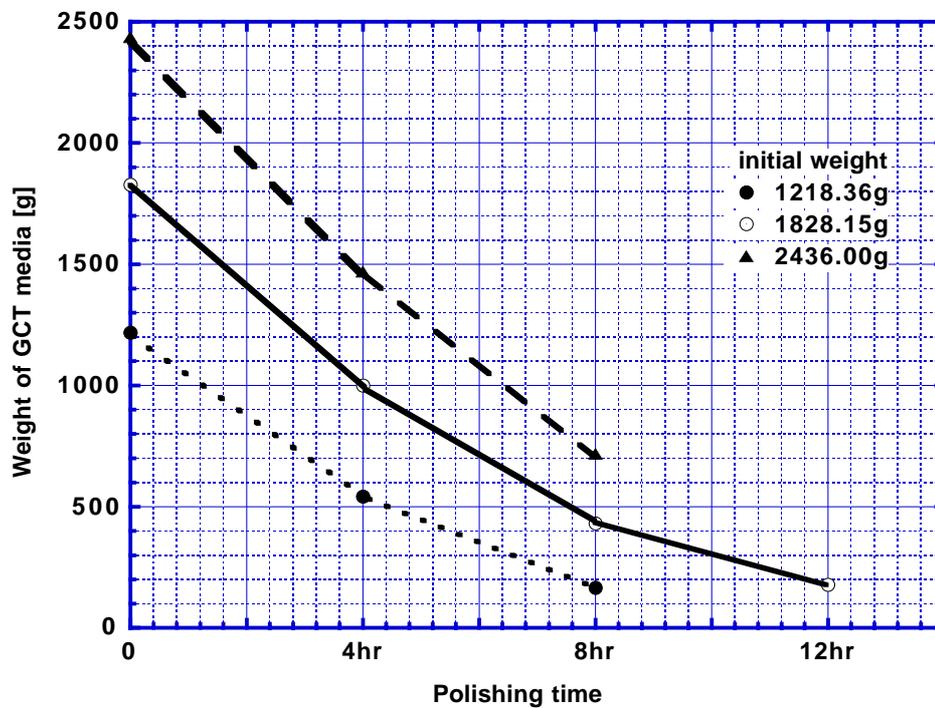


図 3-18. 研磨メディアの磨耗

GCT メディアを用いて遠心バレル研磨した際のメディアの磨耗について図 3-18 に示すが、4 時間の研磨で半分程度の重量に減少する。これは体積測定でも同様であった。

3.6 遠心バレル研磨での空洞高性能確認試験

前節で述べた通り GCT メディアを用い遠心バレル研磨することで空洞の高速機械研磨に成功した。この空洞は研磨試験を繰返したために合計で 145mm もの遠心バレル研磨をした。遠心バレル研磨の

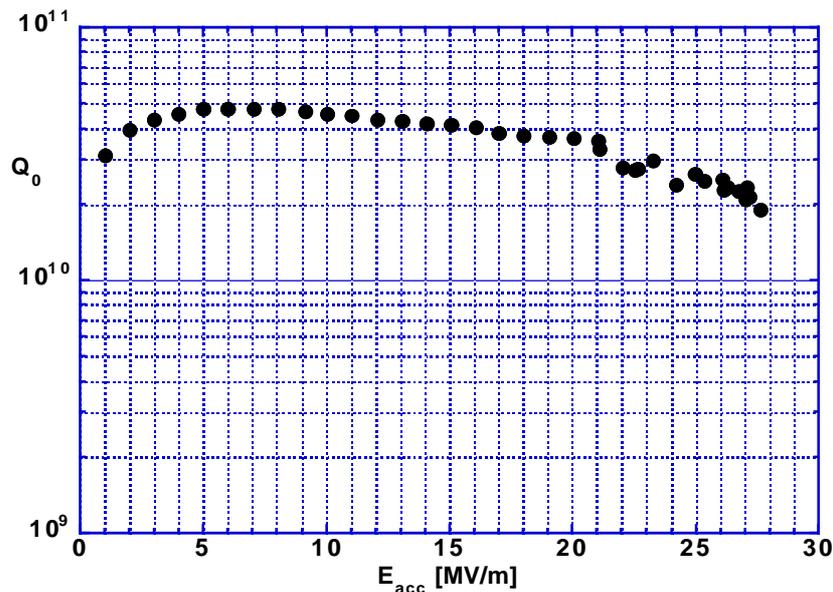


図 3-19 . 遠心バレル研磨を適用した空洞の性能試験

空洞性能面からの評価が急がれたため、この空洞に以前切断したビームパイプを電子ビーム溶接して形状を回復し、5 μm 程度の少量化学研磨によるクリーニング、真空焼鈍 (750 x 5 時間)、電解研磨 30 μm 、高圧洗浄 (85kg/cm² x1 時間) を施し、低温性能測定を行った (図 3-19)。最大加速電界 26.3MV/m が達成され、性能面で問題が無いことが実証された。尚、この空洞は最初の製作時に溶接条件を誤った試作品であるため (付録 A-4) 本試験前の性能は悪く、この空洞にとって 26.3MV/m は、このテスト前後を通して達成した最大の加速電界であった。

3.7 L バンド空洞用遠心バレル研磨装置の製作と

これを用いて遠心バレル研磨した単セル空洞の性能確認

遠心バレル研磨が有効であることを確認したので、KEK 内に L

バンド 3 連空洞まで研磨可能な遠心バレル研磨装置を製作した。その外観を図 3-20 に、これに空洞をセットしたところを図 3-21 に示す。3.5 節の試験に見るように、自転速度（装置の設計上、自転速度：公転速度=1:-1）に関してまだ改良の余地があると思われたので、この装置では最大 180rpm の設計にした。この装置で回転速度に関し試験した結果 160rpm 程度で研磨速度が最大になることが分かった。



図 3-20. L バンド空洞用遠心バレル研磨装置

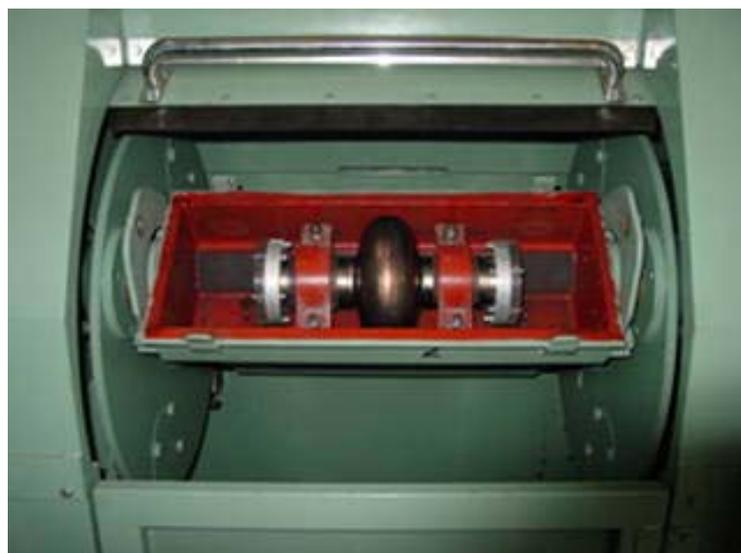


図 3-21. 遠心バレル研磨装置にセットされた単セル空洞

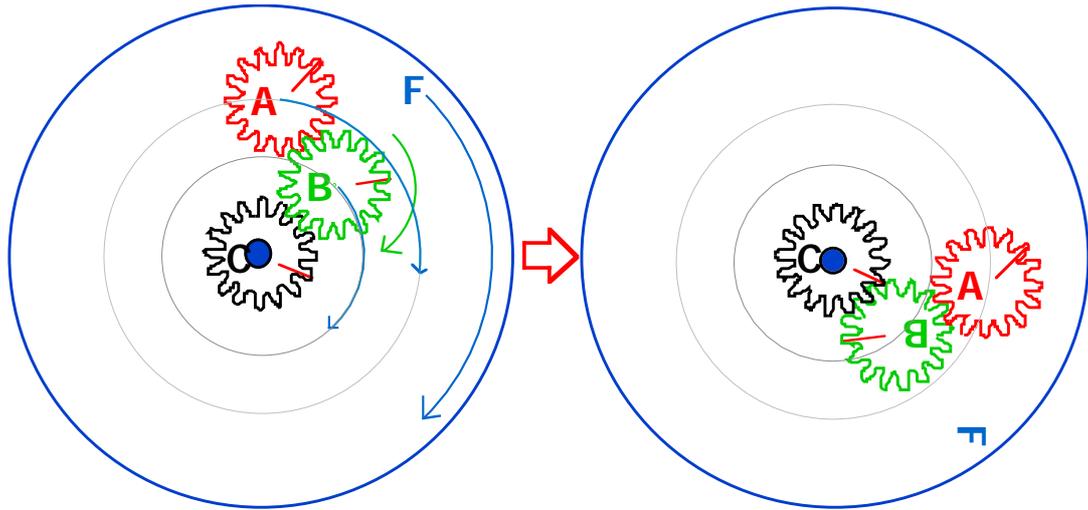


図 3-22. 遠心バレル研磨装置の回転機構

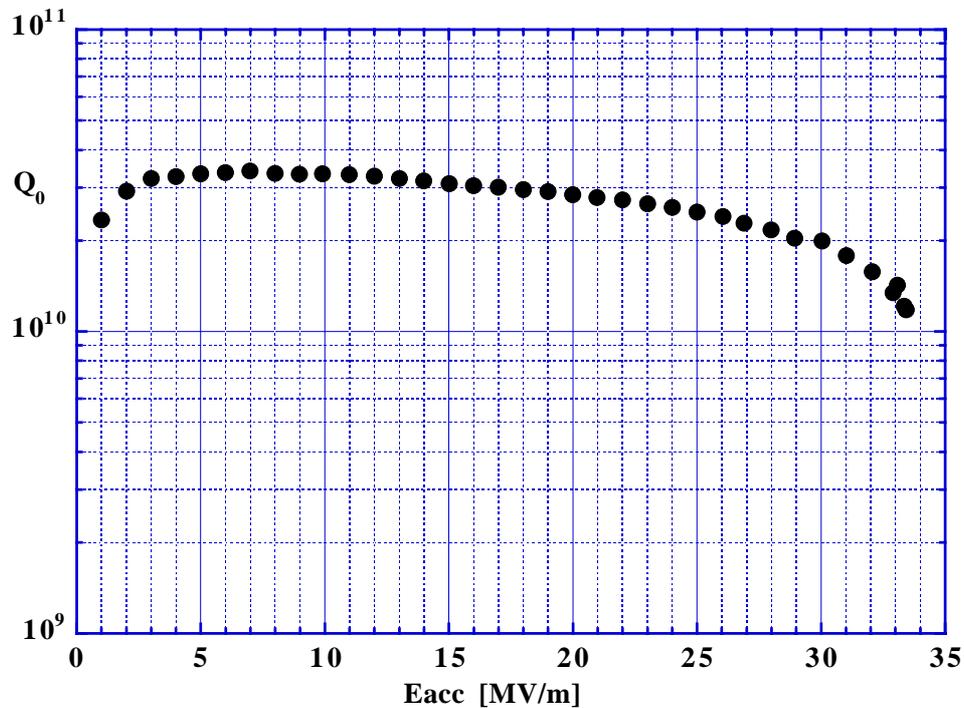


図 3-23 . 新しい遠心バレル研磨装置による空洞の性能

ここで遠心バレル研磨装置の回転機構について簡単に説明する。中心軸とそれに固定されたギア C は回転しない。中心軸の周りを回転するターンテーブル F 上に遊星ギア A、B の軸が固定されていて、A、B は各自の軸の周りを自由に回る事が出来る。図 3-22 にターンテーブル F が 1/4 回転した場合についてギア位置の変化を比較して示す。ギア B はギア C に駆動されて運動し、ギア A はギア B に駆動されて運動する。ギア A、C のギア比が等しいため、外部から見

るとギア A は常に同じ向きを向いたまま運動する。このギア A に空洞が固定されている。実際にはバランスをとるためギア C の反対側にも同様の機構があり、空洞がもう 1 個取り付けられる。

この装置を用いて L バンド単セル空洞の遠心バレル研磨を行い、GCT メディアを使って 4 時間で平均 30 μm の研磨に成功した。その後、化学研磨によるクリーニング処理を行い、750 x5 時間の真空熱処理を施し、30mm の仕上げ電解研磨、超純水高圧洗浄を行い低温性能測定を実施した。結果を図 3-23 に示す。33.4MV/m の高い加速電界が達成された。

3.8 3 連空洞の遠心バレル研磨

実際に大型プロジェクトで使用される加速空洞は 5 連、7 連、9 連などの多連空洞である。多連空洞に適用した場合にも遠心バレル研磨速度に問題がないか調べるため、図 3-21 の遠心バレル研磨装置を用いて L バンド 3 連空洞を 8 時間遠心バレル研磨した。実験を 2 回行い、平均研磨量は各々 43 μm 、44 μm であった（空洞重量の減少量より換算）[3-4]。この時セル毎の研磨量分布を確認するために超音波厚み計で各部の研磨量を測定した。結果を図 3-24 に示す。セル毎の研磨厚みのバラつきは 2 割以下であった[3-4]。

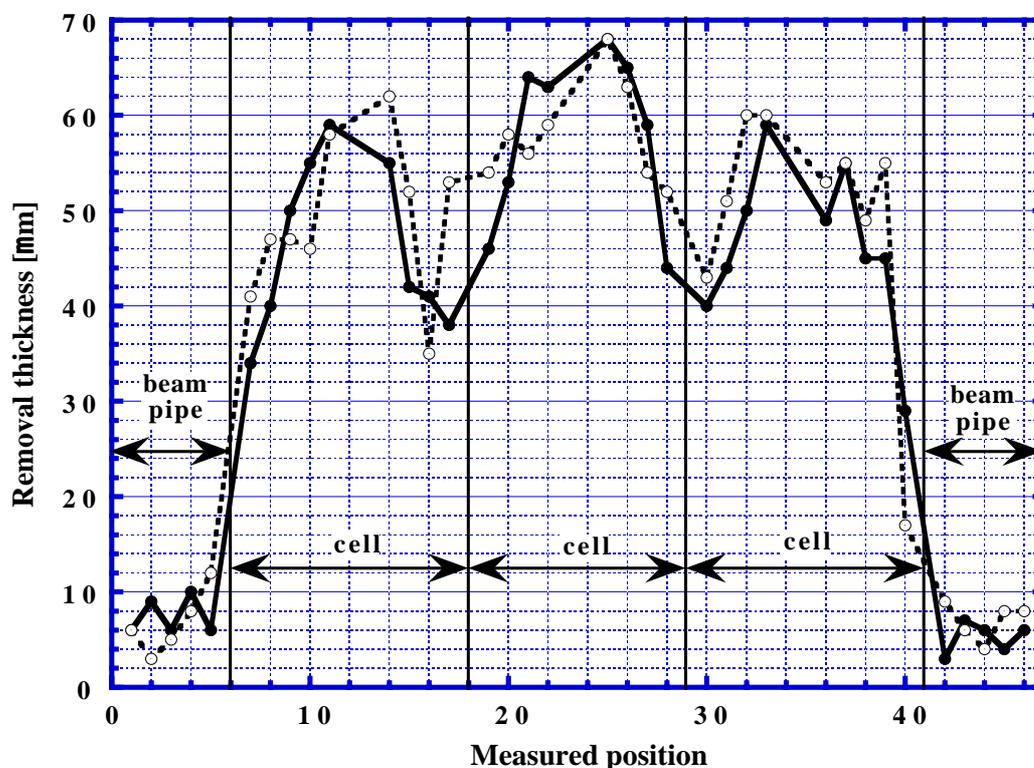


図 3-24. 遠心バレル研磨による L バンド 3 連空洞の研磨分布

3.9 遠心バレル研磨と電解研磨を組合せアニールを省いた表面処理の試み

遠心バレル研磨と電解研磨の組合せのみによる、アニールを省いた表面処理を行い空洞性能を評価した。常温から 4.2K まで 45 分程度で急速冷却した後、液体ヘリウムを減圧して更に冷却して 1.5K として高電界性能を調べた。結果を図 3-25 に示す。加速電界は 15MV/m に制限された。この性能試験の後、水素病の有無を調べるために 100K に 16 時間保持して同様な性能試験を行った結果、著しい Q 値の劣化を観察した。これは次章で述べる水素病の症状である。遠心バレル研磨と電解研磨を単に組合せた処理では、水素病の問題があることが分かった。

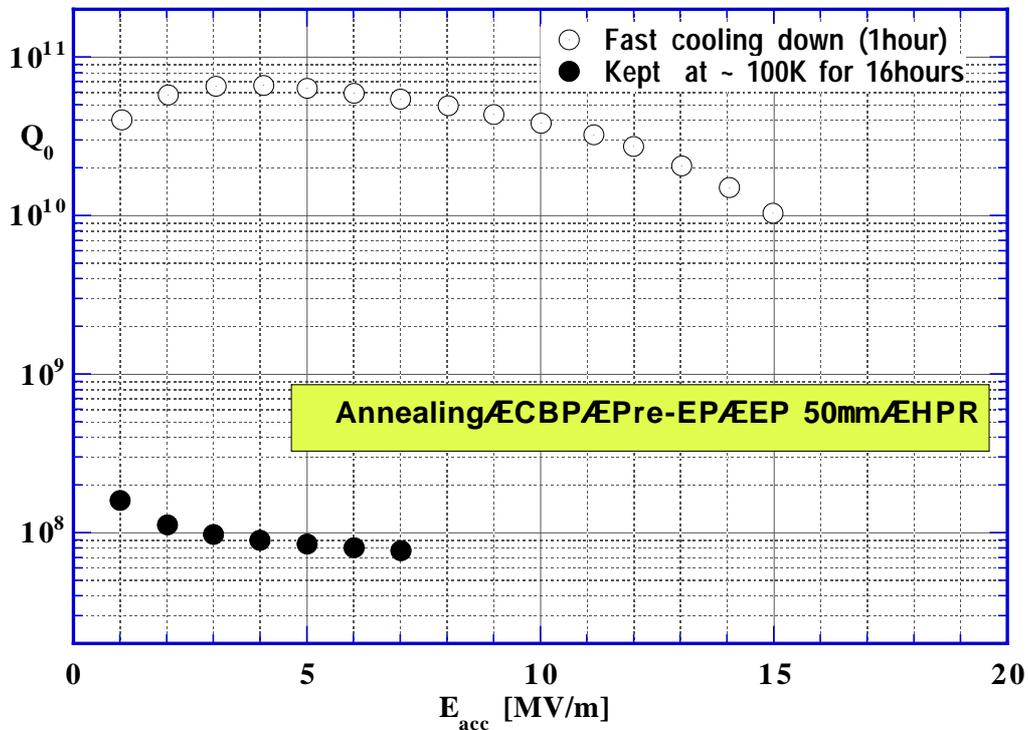


図 3-25. 遠心バレル研磨と電解研磨の組合せ処理による超伝導空洞の性能試験結果

3.10 機械研磨のまとめ

1) バレル研磨

バレル研磨を超伝導加速空洞に適用し、簡便で量産向きの機械研磨の開発に成功した。

このバレル研磨の適用により再現性よく 25MV/m 以上の高性能が達成されたが、バレル研磨には研磨速度が遅いという問題がある。

2) 遠心バレル研磨

空洞に適用できる遠心バレル研磨システムの開発によりバレル研磨速度は 10 倍以上向上し、30 μm の機械研磨が 4 時間でできるようになった。

また、遠心バレル研磨を Lバンド単セル空洞に適用し空洞としての性能に問題がないことを確認した。

この遠心バレル研磨を 3 連空洞に適用し、研磨速度にセル毎のバラつきがないこと、単セル空洞の場合に較べ研磨速度の減少が無いことを確認した。

- 3) アニールを省いた遠心バレル研磨と電解研磨の組合せ処理では水素病が発生した。遠心バレル研磨と電界研磨の単純な組合せでは十分な空洞性能が確保できない。

参考文献

- [3-1] T. Higuchi et al., "ACTIVITIES ON SURFACE TREATMENT FOR SC CAVITIES IN NOMURA PLATING CO., LTD.", Proceedings of the 8th Workshop on RF Superconductivity, 662-666(1997)
- [3-2] T. Higuchi et al., "Performance of the Superconducting Niobium Cavities that Removed with Ceramic Media", Proceedings of the 24th Linear Accelerator Meeting in Japan, (1999)
- [3-3] T. Higuchi et al., "APPLICATION OF CENTRIFUGAL BARREL POLISHING TO A NIOBIUM SUPERCONDUCTING CAVITY", Proceedings of the 25th Linear Accelerator Meeting in Japan, 329-330(2000)
- [3-4] T.Higuchi et al., "CENTRIFUGAL BARREL POLISHING OF L-BAND NIOBIUM CAVITIES", Proceedings of the 10th Workshop on RF Superconductivity, to be published (2001)